ChinaXiv合作期刊

第40卷 第6期
2023年6月

干 旱 区 研 究
ARID ZONE RESEARCH

Vol. 40 No. 6
Jun. 2023

干旱区绿洲-城镇-荒漠景观演变及生态环境效应

邹 易， 蒙吉军

（北京大学城市与环境学院，地表过程分析与模拟教育部重点实验室，北京 100871）

摘 要： 绿洲、城镇和荒漠是干旱区内陆河流域重要的景观类型，随着流域社会经济发展，干旱区生态环境问题日益凸显。本研究选取我国西北干旱区第二大内陆河——黑河流域内绿洲-城镇-荒漠的景观组合作为研究对象，利用景观转型核密度与景观结构指数分析2000—2020年期间黑河流域绿洲-城镇-荒漠的时空格局与转型特征，借助多元回归树（MRT）模型探究三类景观转型之间的权衡-协同关系，基于遥感生态指数（RSEI）与景观转型生态贡献率揭示绿洲-城镇-荒漠景观转型的生态环境效应。结果显示：（1）黑河流域荒漠广布，绿洲仅在中下游河道沿岸集中分布，城镇面积占比最小，其空间分布和规模结构与绿洲有紧密关联；（2）黑河流域绿洲-城镇-荒漠景观转型可概括为：农业活动主导期（2000—2005年）、产业快速发展期（2005—2015年）和发展转型协调期（2015—2020年）；（3）气温、GDP、海拔、降水量是影响绿洲-城镇-荒漠景观转型之间权衡-协同关系的主要因素；（4）2000—2020年期间流域景观转型以正的生态环境效应为主，耕地扩张是正效应的主导因素；耕地退化、水域减少与草地退化则是带来负效应的主要因素。研究结果可为干旱区内陆河流域实施生态保护与高质量发展提供理论指导。

关键词： 绿洲-城镇-荒漠；景观格局；时空演变；生态环境效应；黑河流域

地球进入人类世以来，各类自然生态过程正被人类活动深刻改变，随之引发一系列生态环境问题[1]，对全球生态系统安全带来挑战。景观格局演变是区域人类活动与自然过程综合作用的结果。在西北干旱区内陆河流域，自然生态条件特殊，生态环境极端脆弱[2]，荒漠、绿洲和城镇是其重要的景观类型：荒漠是基质景观，占据干旱区绝对优势的面积比例；绿洲因具有明显高于周围荒漠的植被覆盖度与植被生产力[3]，是干旱区独特的景观类型；城镇则是人口最为密集、经济最为发达、社会经济功能更为完善的景观类型[4]。近年来，随着干旱区经济快速发展与人类活动的加剧[5]，尤其是绿洲的扩张和城市化的快速发展，荒漠、绿洲与城镇发展之间的矛盾日益突出，危及了干旱区流域生态安全[6]。从流域尺度定量揭示干旱区景观格局变化的生态环境效应[7]，对内陆河流域生态系统的稳定与可持续发展具有重要意义。

景观格局与过程的相互关系是景观生态学研究的核心问题[8]。近年来，学者们在采用不同的方法来研究干旱区景观格局与过程之间的相互关系，揭示绿洲与荒漠扩张或消退的过程，如Zhang等[9]利用复杂网络方法与冗余分析塔里木盆地绿洲转化过程与稳定性，进而揭示绿洲变化的驱动力；Yang等[10]将绿洲划分为自然绿洲区与人工绿洲区，在此基础上，通过构建模型确定适宜的绿洲规模与灌溉面积。也有学者聚焦荒漠-绿洲交错区，研究土地利用变化对生态系统服务的影响机制[11]，揭示不同景观稳定性水平及其维持机制[12]。绿洲化和荒漠化是干旱区内陆河流域两个重要地理过程，二者反向发展但密切关联[13]，城镇化在推进我国城乡一体化发展、全面推动乡村振兴进程中起到关键性作用[14]。“绿洲-城镇-荒漠”景观之间时空格局动态变化，反映了干旱区内陆河流域土地转型的时空特点。学者们采用相关分析[15]、空间自相关分析[16]、拟合约束线[17]等方法来研究多要素之间的权衡与协同关系。多元回归树（Multivariate Regression Tree，MRT）是在单变量回归树基础上发展的拓展模型，多用于研究物种分布与环境因子之间的联

收稿日期： 2022-11-10； **修订日期：** 2023-05-11
基金项目： 国家自然科学基金项目（41871074）
作者简介： 邹易（1999-），女，硕士研究生，研究方向为土地转型及其效应. E-mail: zy2101@stu.pku.edu.cn
通讯作者： 蒙吉军. E-mail: jijunm@pku.edu.cn

ChinaXiv:202308.00699v1

ChinaXiv合作期刊

ChinaXiv:202308.00699v1

系[18]。因其可根据自变量的指标梯度确定分割节点,将因变量定义的空间范围划分为基本同质的类别,无需人为确定分类结果,更加客观科学[19]。该模型可同时输入一个或多个因变量,可用来揭示多要素之间的权衡协同关系及其驱动因素。如Ndong等[20]将MRT创新性地应用在分析景观多个生态系统服务及其驱动因素之间的权衡协同效应;Lyu等[21]利用MRT探究不同景观格局指标对生态系统服务权衡协同效应的影响阈值。可以看出,现有研究大多将绿洲、荒漠或绿洲-荒漠过渡带视为独立单元,重点关注其内部稳定性与时空变异性,将"绿洲-城镇-荒漠"作为干旱区内陆河流域的景观模式开展的研究还较鲜见。基于此,本研究采用MRT分析"绿洲-城镇-荒漠"景观组合在转型中的权衡-协同关系,同时探讨其空间驱动机制,以期扩展MRT的应用情境。

黑河流域农业绿洲开发历史悠久,是我国西部重要的商品粮、蔬菜与制种基地,绿洲景观总体表现为"主体稳定,局部变化"的特点[22]。近年来,随着人口增加与城镇化速度加快,中游农业绿洲与城镇面积迅速扩大,自然绿洲逐渐被人工绿洲所取代[23-24],同时对流域带来一系列生态安全问题[5]。基于此,本研究从"格局-过程"出发,针对干旱区典型的"绿洲-城镇-荒漠"景观格局组合,利用景观转型信息熵、均衡度与优势度等指标,结合景观转型核密度分析以及多元回归树模型等方法,揭示黑河流域绿洲-城镇-荒漠景观转型模式与生态环境效应,以期为干旱区内陆河流域的生态系统管理提供理论指导。

1　数据来源与研究方法

1.1　研究区概况

黑河是我国第二大内陆河,地处青藏高原和内蒙古高原的过渡地带,发源于青海省祁连山北麓,流经青海、甘肃、内蒙古3省区的11县(区、旗),消亡于内蒙古额济纳旗的东、西居延海,干流全长约821 km,流域面积约13×10^4 km^2(图1)。黑河流域属于典型的干旱区气候,多年平均降水量为400 mm,多年平均潜在蒸散量为1600 mm。流域自南向北可分为上游祁连山地、中游走廊平原和下游阿拉善高原3个地貌单元。莺落峡以上为上游,地势高峻,气候严寒湿润,海拔4000 m以上的山脉发育有现代冰川,出山径流主要来源于山区的大气降水,冰川融水补给约占全部水量的3.6%,上游山地是流域产流区和水源涵养区,以牧业为主,人均收入较高;莺落峡和正义峡之间为中游,地处河西走廊,地势平坦,气候干旱,生态脆弱,也是整个流域绿洲最为集中、经济最为发达的地区,黑河流域主要城镇也都分布于中游的各大绿洲之中;正义峡以下为下游,为开阔平坦的盆地,除额济纳绿洲外大部分为荒漠、沙漠和戈壁,气候极度干旱。

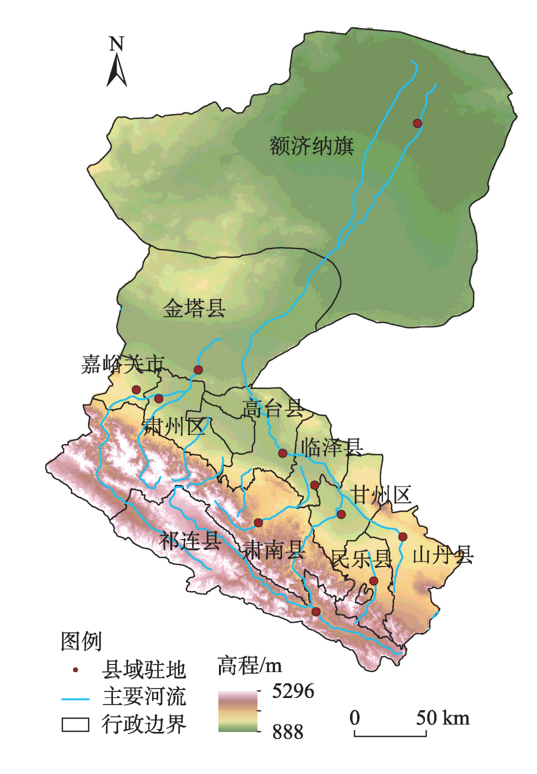


图1　黑河流域概况

Fig. 1　General situation of Heihe River Basin

1.2　数据来源与处理

本研究使用的主要数据如表1所示。由于GDP空间分布最新数据截止2015年,因此本研究首先提取2015年研究区各栅格GDP产值占该栅格所在行政区县总产值的比例,以此为权重,乘以2019年该栅格所在行政区县的GDP总值,进而获得研究区2019年GDP空间分布公里网格数据,并以此代替2020年GDP空间分布数据。处理后数据精度与前序年份统一为1 km×1 km,空间化处理后数据相对误差最小为0.04%,最大不高于4.47%,误差较小,数据处理结果良好,可以满足研究需求。

对于精度较低、时间序列缺失的数据,采用图像超分辨率方法进行合成得到高精度的完整时间序列数据,处理完成后数据精度为1 km×1 km,全时

ChinaXiv合作期刊

表1 数据来源与说明

Tab. 1 Data sources and description

数据名称	数据类型	时间序列	数据来源
黑河流域行政区划数据	矢量	-	国家基础地理信息中心(http://www.ngcc.cn/ngcc/)
黑河流域绿洲分布数据集	矢量	1963—2013年	国家冰川冻土沙漠科学数据中心(http://www.crensed.ac.cn/portal/)
黑河流域绿洲重建面积统计数据集	矢量	1963—2013年	国家冰川冻土沙漠科学数据中心(http://www.crensed.ac.cn/portal/)
土地利用数据	1 km×1 km栅格	2000—2020年每隔5 a	中国科学院资源环境科学与数据中心(https://www.resdc.cn/)
DEM数据	1 km×1 km栅格	-	中国科学院资源环境科学与数据中心(https://www.resdc.cn/)
人口分布格网数据	1 km×1 km栅格	2000—2020年每隔5 a	WorldPop官网(https://www.worldpop.org/)
GDP空间分布公里网格数据	1 km×1 km栅格	2000—2015年每隔5 a	中国科学院资源环境科学与数据中心(https://www.resdc.cn/)
高精度气温与降水数据	1 km×1 km栅格	2000—2015年每隔5 a	中国科学院资源环境科学与数据中心(https://www.resdc.cn/)
低精度气温与降水数据	0.1°×0.1°栅格	2000—2020年每隔5 a	欧洲中期天气预报中心(https://cds.climate.copernicus.eu/)
MODIS遥感生态指数(RSEI)空间分布数据集	1 km×1 km栅格	2000—2019年	中国科学院地理科学与资源研究所

段数据精度实现统一，具体模型如下：

$$y = kx + b + \delta \tag{1}$$

式中：y为标准化的高精度真实数据；x为标准化且插值后的低精度参考数据；k、b为系数；δ为随机误差。利用高精度数据使用最小二乘法率定出k、b的值后，可建立模型：

$$\hat{y} = kx + b + \delta \tag{2}$$

式中：$\hat{y}$为模型反演建立的高精度数据参考值。

1.3 研究方法

1.3.1 绿洲-城镇-荒漠景观划分 本研究参考黑河流域1963—2013年绿洲分布数据集与绿洲重建矢量数据(表1)，自南向北将黑河流域绿洲区域分为5个片区：山丹-民乐山前冲积扇绿洲、甘-临-高绿洲、酒泉绿洲、金塔-鼎新绿洲与额济纳绿洲。在土地利用图中提取6个片区内的耕地、林地、草地、水域和沼泽地作为绿洲景观，提取结果与绿洲重建数据对比，相对误差均在1%以内；提取中游和下游的沙地、戈壁、盐碱地、低覆盖度草地、裸土地、裸岩石质地及其他未利用地为荒漠景观；提取城镇用地、农村居民点及其他建设用地为城镇景观。绿洲-城镇-荒漠景观体系划分如表2所示。

1.3.2 绿洲-城镇-荒漠景观转型分析

(1) 景观转型矩阵

转移矩阵可用于描述多组分系统的状态变化，可以直观地表现出各类用地之间相互转化的情况，其计算公式如下[25]：

$$\mathrm{Trans}_{i,j} = f\begin{bmatrix} \mathrm{trans}_{1,1} & \cdots & \mathrm{trans}_{1,q} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ \mathrm{trans}_{p,1} & \cdots & \mathrm{trans}_{p,q} \end{bmatrix} \tag{3}$$

式中：$\mathrm{Trans}_{i,j}$表示从时间点i到时间点j的转移矩阵；$\mathrm{trans}_{p,q}$表示在该过程中第p类土地转化为第q类土地的面积。矩阵每行的元素总和表示该类型土地在时间点i时的总面积，每列的元素总和表示该类型土地在时间点j时的总面积，所有元素总和表示研究区域的总面积。

(2) 景观转型核密度

核密度分析是对点数据或线数据进行空间衰减可视化表示的方法[26]，本研究采用景观转型核密度揭示黑河流域景观转型的时空特征，计算公式为：

$$f(x) = \frac{1}{nh}\sum_{i=1}^{n} K\left(\frac{x - x_i}{h}\right) \tag{4}$$

式中：$f(x)$为x处的核密度值；n为样本数；h为搜索半径；K为核密度权重值；$x-x_i$表示估计点x与样本点x_i之间的距离。

本研究以2 km× 2 km格网为基本单元，计算网格内景观转移的面积，并将每个网格内的景观转移信息提取至点数据，在ArcGIS 10.2软件中处理得到研究区景观转移的核密度结果。核密度分析识别除了景观转型热点区，核密度由发生土地转移的核心区向外围衰减，反映景观转型由热点区向周围扩散的影响大小[27]，由此将其他用地类型转为荒漠、绿洲与城镇景观的景观转型核密度分别定义为荒漠化、绿洲化与城镇化强度。

(3) 景观信息熵、均衡度和优势度

景观转型结构指标可有效揭示不同景观过程中土地利用的有序程度与演化方向[28]。本研究利

ChinaXiv:202308.00699v1

ChinaXiv合作期刊

表2　黑河流域绿洲-城镇-荒漠景观土地利用分类系统

Tab. 2　Oasis-urban-desert landscape classification system in the Heihe River Basin

一级类型		二级类型		说明
编号	名称	编号	名称	
1	绿洲	11	耕地	包括旱地和水田
		12	林地	包括有林地、灌木林、疏林地及其他林地
		13	草地	指覆盖>20%的天然草地、改良草地和割草地
		14	水域	包括河渠、湖泊、人工坑塘与河湖滩地
		15	沼泽地	指有积水，表面生长湿生植物的湿地
2	荒漠	21	沙地	指表层为沙覆被、植被覆盖度5%以下的土地
		22	戈壁	指地表以碎砾石为主、植被覆盖度5%以下的土地
		23	盐碱地	指地表盐碱聚集、生长耐盐碱植被的土地
		24	低覆盖度草地	指植被覆盖度在5%~20%的天然草地
		26	裸地	指地表土质、岩石或石砾覆盖，基本无植被覆盖的土地
		27	其他未利用地	包括高寒荒漠、苔原等
3	城镇	31	城镇用地	指大、中、小城市及县镇以上建成区用地
		32	农村居民点	指独立于城镇以外的农村居民点用地
		33	其他建设用地	指厂矿、油田、交通道路等用地

用景观信息熵、景观均衡度和优势度等来揭示黑河流域景观转型的内部结构特征。其中，景观信息熵可反映区域土地利用的多样性与有序程度，一定程度上表征人类对土地系统的干扰程度；景观均衡度与景观优势度则反映土地利用之间面积大小的差异，表征土地利用结构的空间格局，景观均衡度侧重衡量各类用地之间的发展是否平衡，景观优势度诠释研究区是否存在占支配地位的用地类型。3个指标相互补充参考，能够更加客观全面的评价典型景观系统的演变态势。计算公式[29-30]分别为：

$$H=-\sum_{i=1}^{n}P_i\ln P_i=-\sum_{i=1}^{n}(A_i/\sum_{i=1}^{n}A_i)\ln(A_i/\sum_{i=1}^{n}A_i) \quad (5)$$

$$J=H/\ln(n) \quad (6)$$

$$D=1-J=-\sum_{i=1}^{n}P_i\ln\left(\frac{P_i}{P_e}\right)/\ln(n) \quad (7)$$

式中：H为景观信息熵；P_i为土地利用面积的占比，可理解为概率；A_i为第i类用地的面积；n为用地类型的数量；J为景观均衡度；D为景观优势度；P_e为景观完全均衡状态时的概率。

1.3.3　景观转型间的权衡-协同效应　本研究采用MRT模型分析黑河流域绿洲-城镇-荒漠景观转型之间的权衡-协同关系，同时确定权衡与协同效应空间差异的环境驱动机制。MRT的目标并非建立因变量与自变量之间的回归关系，而是将自变量作为分类节点，利用二元分割法（binary split）将因变量定义的空间区域划分为基本同质的类别，并采用交叉验证（cross-validation）确定分类结果，一般默认保留结果为交叉验证误差最小的一个标准差范围内的分类结果[18-19]。MRT的分类结果可以较好的模拟多种自然要素间的非线性关系与阈值效应[31]。

基于科学性、合理性与可获取性原则[20-21]，选择人口密度、GDP、年降水量、年均气温、海拔、坡度与坡向共7个因子作为景观转型权衡协同关系的驱动因子。以7项驱动因子为自变量，2000—2020年期间4个时段的绿洲化、城镇化与荒漠化强度累加值作为因变量，进行多元回归树分析。由于干旱区内陆河流域绿洲之外的景观转型过程不强烈，为避免流域统计值中空值过多的问题，统计聚类景观转型强度时剔除大部分空值数据，最大限度反映出各聚类内部的共性及聚类间的差异性，本研究选择5个聚类结果作为最终模拟结果，以最大限度体现类别内的共性与类别间的差异性[20]。MRT分析过程通过R语言软件“mvpart”包实现。

1.3.4　景观转型生态环境效应分析　景观转型过程往往伴随生态环境质量变化[32]。近年来，随着遥感技术的蓬勃发展，生态环境质量评估渐趋完善[33]，尤其是遥感生态指数（RSEI）模型[34]，利用主成分分析法将绿度、湿度、热度和干度4个指标集成起来，综合评估区域的生态环境质量得到了广泛应用[35]。本研究利用RSEI来反映景观的生态环境质量，用景观转型的生态环境贡献率（LEI）来刻画景观转型的生态环境效应[25-36]，包括负向和正向两方面的效应，

ChinaXiv:202308.00699v1

ChinaXiv合作期刊

计算公式为：

$$LEI = \frac{(LE_1 - LE_0)\Delta S}{TA} \times 100\% \quad (8)$$

式中：LEI为景观转型的生态贡献率；LE_1与LE_0分别表示变化前、后两期景观的遥感生态指数；ΔS表示发生变化的景观面积；TA为研究区总面积。

2 结果与分析

2.1 黑河流域绿洲-城镇-荒漠景观分布格局

从图2可以看出，荒漠是黑河流域分布最广泛的景观类型，占流域总面积的60%以上，广泛分布于中游东北部和下游地区。绿洲主要分布在中游和下游，20 a期间主体部分保持相对稳定，面积由7579 km^{2}增加至8513 km^2，增加了934 km^2，扩张达12%。其中，中游是流域绿洲面积最大、最集中的区域，以耕地为主，是我国西部重要的粮食基地；下游绿洲则以林地和草地为主，多生长耐盐、耐旱植物，尤以胡杨林最为典型，额济纳绿洲为重要牧区。城镇面积占比最小(0.65%)，其空间分布和规模与各绿洲紧密关联，大规模的城镇多分布在规模较大的绿洲或水源富集区，尤其是中游各绿洲形成了张掖、酒泉和嘉峪关等地级城市以及山丹、民乐、临泽、高台、肃南和金塔等县城，是流域内城镇化发展最为迅速的区域。

2.2 黑河流域绿洲-城镇-荒漠景观转型

2.2.1 绿洲-城镇-荒漠景观转型的时空特征　从图3可以看出，20 a期间黑河流域景观转型呈现波动变化的特点，其中绿洲化过程最为强烈，城镇化次之，荒漠化程度最轻。2010—2015年期间是绿洲化、荒漠化与城镇化均较强烈的时段，土地利用冲突与竞争较为剧烈，土地转型活跃且转型方向复杂多样。20 a期间，黑河流域荒漠化过程较微弱，热点区分别位于中游高台县中部(2000—2005年)、甘州区南部(2000—2005年、2015—2020年)以及下游额济纳绿洲三角洲附近(2010—2015年)。绿洲化过程经历了“快速发展-增速减缓-增速加剧-再度减缓”的波动过程，绿洲扩张区主要分布在中下游河道附近和绿洲外围。城镇化过程在2010年后明显加快，多表

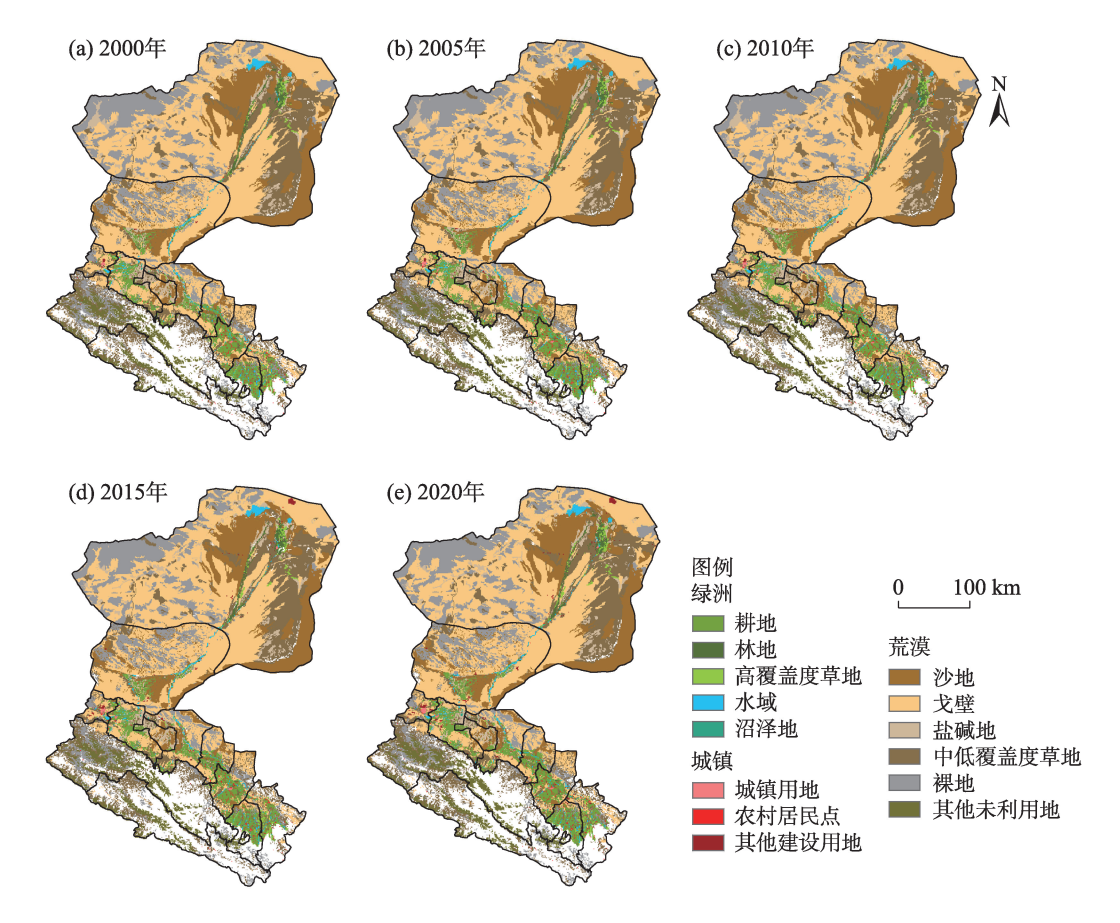


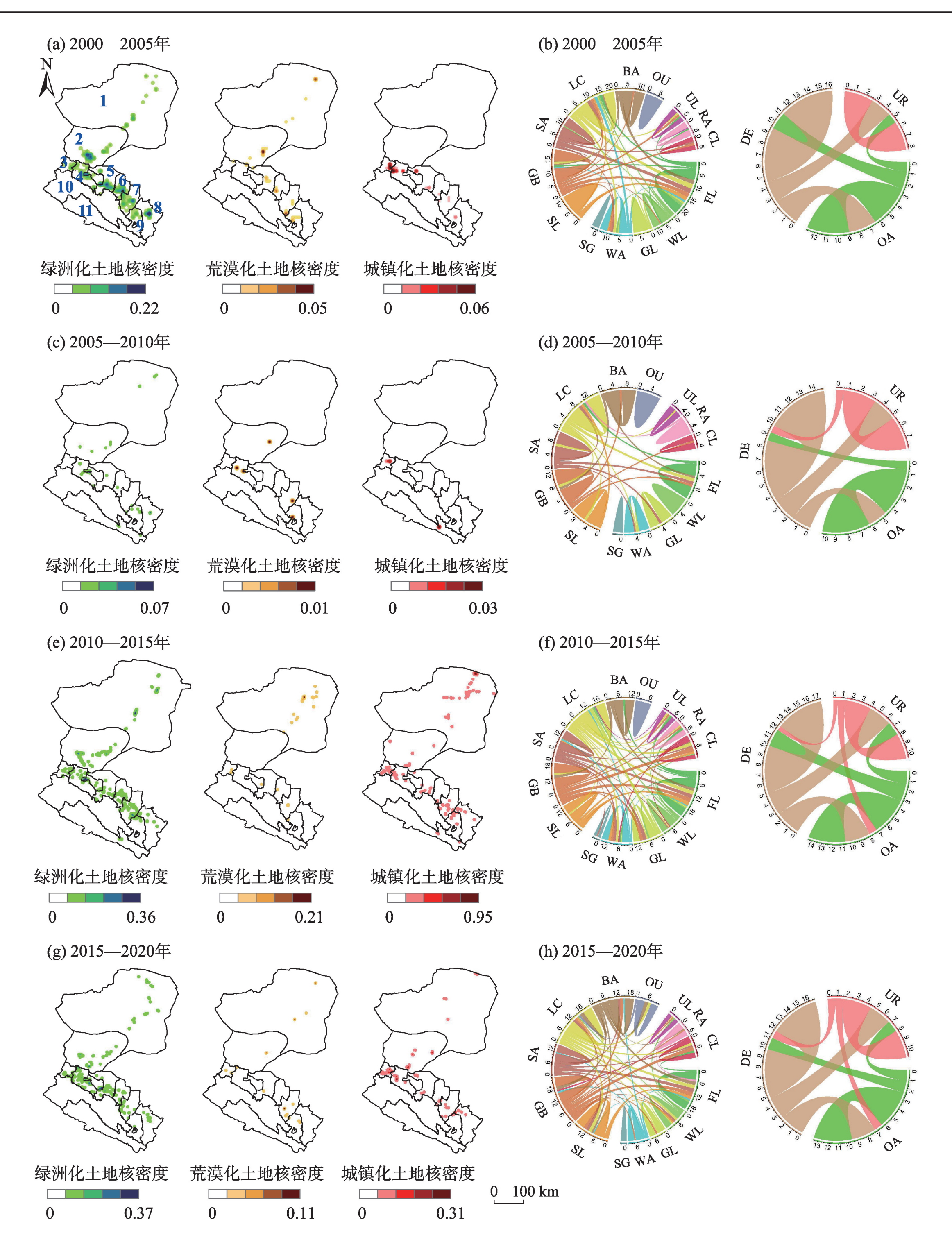
图2　2000—2020年黑河流域绿洲-城镇-荒漠分布格局

Fig. 2　Spatial distribution of oasis-urban-desert in the Heihe River Basin from 2000 to 2020

ChinaXiv:202308.00699v1

ChinaXiv合作期刊

ChinaXiv:202308.00699v1



注：FL为耕地，WL为林地，GL为高覆盖度草地，WA为水域，SG为沼泽地，SL为沙地，GB为戈壁，SA为盐碱地，LC为中低覆盖度草地，BA为裸地，OU为其他未利用地，UL为城镇用地，RA为农村居民点，CL为其他建设用地；OA为绿洲，UR为城镇，DE为荒漠。县级行政区1~11分别为额济纳旗、金塔县、嘉峪关市、肃州区、高台县、临泽县、甘州区、山丹县、民乐县、肃南县、祁连县。

图3　2000—2020年黑河流域绿洲-城镇-荒漠景观转型的时空与数量特征

Fig. 3　Spatio-temporal and quantitative characteristics of oasis-urban-desert in the Heihe River Basin from 2000 to 2020

现为各大城镇向外围扩张的趋势。城镇化和绿洲化区域集中在中游地区，围绕沿连霍高速公路、312国道以及兰新铁路的东西向轴线与沿227国道、兰新铁路二线的斜向轴线发展。其中，中游西部的酒泉市与嘉峪关市城镇持续扩张，中游东部以张掖市滨河新区、民乐县与山丹县交界处为中心的城镇扩

ChinaXiv合作期刊

张。此外,2010—2015年期间下游额济纳旗策克口岸为中心的城镇建设是此阶段城镇化的重点。

2.2.2 绿洲-城镇-荒漠景观转型的内部特征 从图3和弦图可以看出,2000—2005年间,绿洲面积的增加主要来自沙地、戈壁、盐碱地、低覆盖度草地与裸地的开垦,开垦面积分别为43 km²、47 km²、94 km²、98 km²、47 km²;荒漠化主要来自耕地的零星退化与水域面积的减少;城镇发展则主要占用戈壁与盐碱地。在2005—2010年间,绿洲化与城镇化是景观转型的主要方向,均来自对荒漠的开垦和利用,耕地开垦过程较为强烈,耕地面积增加343 km²(占0.57%)。2010—2015年间,景观转型过程最为强烈,农业绿洲扩大287 km²,荒漠化面积高达53 km²,主要是额济纳三角洲绿洲草场退化;城镇扩张及交通建设,导致戈壁、盐碱地与裸地分别减少298 km²、113 km²和120 km²。2015—2020年间,耕地与其他建设用地有较大幅度的增长,分别增加280 km²、104 km²,均以戈壁、盐碱地与裸地的转入为主,荒漠化过程则表现为水域转为戈壁或裸地。

综上所述,20 a期间,绿洲的扩张主要来自沙地、戈壁、盐碱地与裸地的开垦,其次是水域面积增加;荒漠化趋势以草场退化、耕地沙化与水域面积减少为主;城镇化过程前期以占用耕地为主,2005年后更多地以占用戈壁、中低覆盖度草地、盐碱地等荒漠为主。

2.2.3 绿洲-城镇-荒漠景观转型的阶段特征 从图4看出,20 a期间黑河流域景观信息熵H平均值为1.794,始终位于较高水平且持续增长,景观均衡度J由2000年0.677增长至2020年0.685,景观优势度D呈现"下降-上升-下降"的波动趋势。根据景观结构指标的年际变化趋势可以将黑河流域景观转型过程分为以下三个阶段:

第一阶段为农业活动主导期(2000—2005年),流域景观信息熵H与均衡度J基本平稳略有上升,优势度则呈现先降低、后增加的波动状态,流域整体发展速度缓慢,用地多样性水平低,景观转型方向单一,表现为以耕地面积增加为主的农业绿洲扩张,扩张达343 km²。

第二阶段为产业快速发展期(2005—2015年),城镇与荒漠景观结构指标呈现明显的拐点,城镇信息熵H与均衡度J快速增加,优势度D快速下降,荒漠景观则相反。同时,流域优势度D大幅下降,耕地、草地、水域、城镇用地与建设用地面积分别增加10.45%、9.42%、6.11%、27.37%、80.01%,绿洲扩展从耕地扩张主导逐渐变为耕地、草地与水域协同扩张,绿洲内部的优势度指数明显下降,用地结构渐趋协调与多样化,流域开始进入快速发展阶段。

第三阶段为发展转型协调期(2015—2020年),流域、绿洲和城镇景观信息熵H与均衡度J均明显增加,优势度D随之下降;荒漠景观结构指数经前阶段的强烈变动后趋于平稳,城镇化进程加速使得流域内景观转型方向更加多样,城镇用地、农村居民点与建设用地面积分别增加8.55%、1.36%、28.11%。城镇化加速使得景观结构复杂性增加,同时流域荒漠化趋势得到一定控制,荒漠景观优势度增加,主要原因是耕地、林地、草地与水域多转为低覆盖度草地,也使得低覆盖度草地在荒漠景观中逐渐处于支配地位。

2.3 黑河流域绿洲-城镇-荒漠景观转型的权衡-协同与环境驱动因子分析

利用MRT定量分析黑河流域三类景观转型之间的权衡协同关系及空间差异,并探索其环境驱动因子。最终MRT结果由3个分类层次与5个聚类组成(图5),模型的模拟精度R^2 = 0.42,标准误差SE =

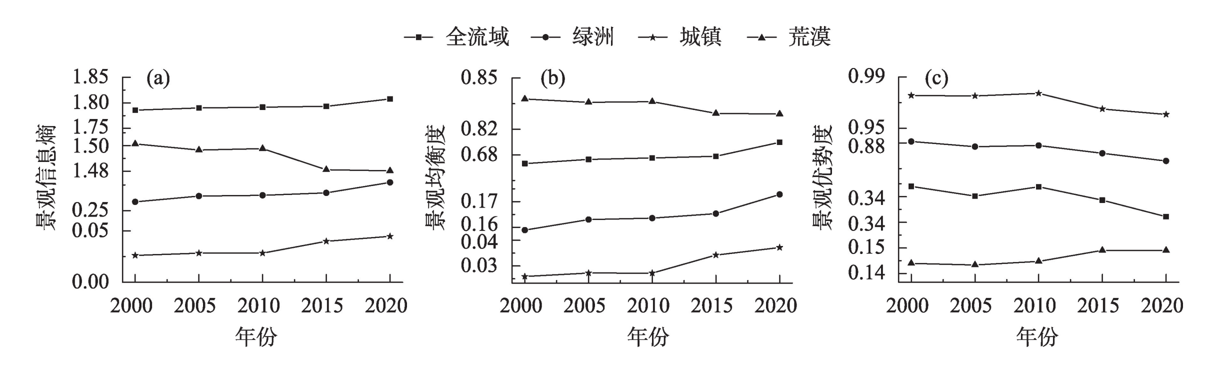


图4 2000—2020年黑河流域绿洲-城镇-荒漠景观转型结构演化

Fig. 4 Changes in the oasis-urban-desert land use structure in the Heiihe River Basin from 2000 to 2020

ChinaXiv:202308.00699v1

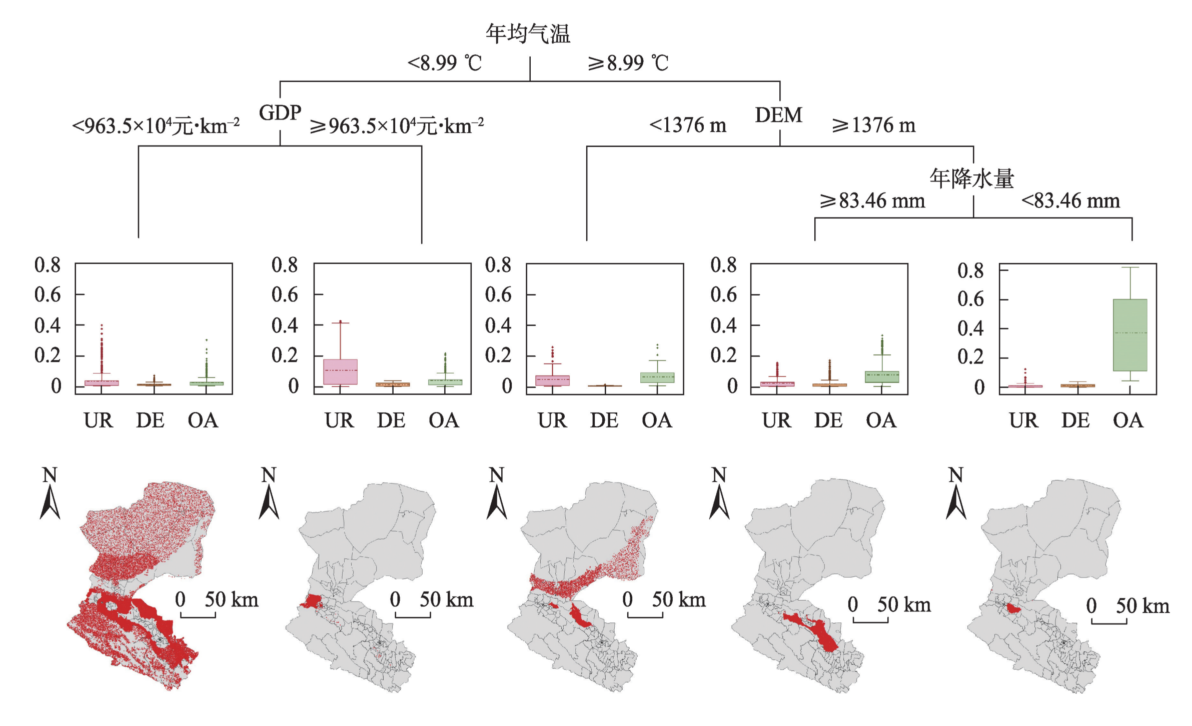
ChinaXiv合作期刊

0.01，对每个聚类中景观转型强度的值域范围进行定量分析，结果显示(表3)，7个影响因子中，年均气温、海拔、GDP与年降水量4个因子的影响作用最为显著。聚类在流域不同区域呈现聚集的趋势，通过对比MRT结果与响应变量箱线图，对5个聚类进行分析。

(1) 聚类1：分布于流域内荒漠地区。聚类中大部分区域三类景观转型均不强烈，但仍存在部分转型强烈的区域，城镇化强度处于流域平均水平，荒漠化强度高于流域平均值，绿洲化强度低于平均值，绿洲化与荒漠化之间存在权衡关系。该聚类的主要环境驱动因子为年均气温(＜8.99 ℃)和GDP(＜963.5×10⁴元·km⁻²)。

(2) 聚类2：主要分布在嘉峪关市、酒泉市及零星分布于张掖市的城镇与居民点。城镇化强度高于其他聚类，绿洲化强度低于流域平均水平，而荒漠化强度中等，城镇化与绿洲化之间存在权衡关系。主要环境驱动因子为年均气温(＜8.99 ℃)和GDP(≥963.5×10⁴元·km⁻²)。

(3) 聚类3：包括中游甘-临-高绿洲西北部、下游金塔绿洲区及周边地区，在额济纳旗东部沿黑河呈条带状分布。聚类中城镇化强度略高于流域平



注：从上到下依次为驱动因子及阈值、5个聚类景观转型的数据分布特征、聚类的空间分布图；箱线图中指标从左至右依次为：UR为城镇化强度、DE为荒漠化强度、OA为绿洲化强度。

图5　黑河流域景观转型空间聚类属性和环境驱动因子阈值

Fig. 5　The attributes and spatial distribution of landscape transformation and environmental effect bundles and their driving factors in the Heiihe River Basin

表3　多元回归树结果统计

Tab. 3　Qualitative interpretation of the results of multivariate regression tree

	聚类1	聚类2	聚类3	聚类4	聚类5
树特征	年均气温(＜8.99 ℃)		年均气温(≥8.99 ℃)		
	GDP(＜963.5×10⁴元·km²)	GDP(≥963.5×10⁴元·km²)	海拔(＜1376 m)	海拔(≥1376 m)	
				年降水量(≥83.46 mm)	年降水量(＜83.46 mm)
城镇化强度	=	++	+	—	-
荒漠化强度	+	=	-	++	—
绿洲化强度	-	—	=	+	++

注：=表示在5个聚类内处于中等水平；-表示在5个聚类内相对最低；—表示在5个聚类内较低；+表示在5个聚类内较高；++表示在5个聚类内相对最高。

ChinaXiv:202308.00699v1

ChinaXiv合作期刊

均水平,荒漠化强度最低,绿洲化强度中等,城镇化与荒漠化呈权衡关系。主要环境驱动因子为年均气温(≥8.99 ℃)和海拔(＜1376 m)。

(4) 聚类4:包括甘-临-高绿洲东部与南部,聚类中荒漠化强度高,绿洲化强度高于流域平均水平,城镇化强度略低于流域平均水平,城镇化与绿洲化、荒漠化之间呈权衡关系。主要环境驱动因子为年均气温(≥8.99 ℃)、海拔(＞1376 m)和年降水量(≥83.46 mm)。

(5) 聚类5:集中分布在肃州区上坝镇、铧尖乡等部分乡镇。其中绿洲化强度最高,荒漠化与城镇化强度均较低,绿洲化与荒漠化、城镇化之间存在权衡关系。主要环境驱动因子为年均气温(≥8.99 ℃)、海拔(≥1376 m)和年降水量(＜83.46 mm)。

结果显示(图5),温度作为回归树第一层分割节点,是影响黑河流域景观转型权衡-协同效应的首要因素,≥10 ℃积温对农业生产有显著的促进作用,因此在聚类3~5(年均气温≥8.99 ℃)中绿洲化强度明显高于聚类1~2(年均气温＜8.99 ℃)。而在温度未达到阈值的区域,GDP即社会经济因子成为主要驱动因素,随着GDP升高(≥963.5×10^{4}元·km^2),城镇化强度增加,由绿洲化与荒漠化的权衡关系转为绿洲化与城镇化的权衡;在温度达到阈值(年均气温≥8.99 ℃)的区域,海拔开始对景观转型产生影响,高海拔地区往往会限制人类开发建设活动,为植被生长提供了更为适宜的生境条件,因此聚类4~5(海拔≥1376 m)均表现出较低的城镇化强度与较高的绿洲化强度,而聚类3(海拔＜1376 m)则表示出较高的城镇化强度。在海拔＞1376 m阈值的区域,年降水量阈值83.46 mm区分了聚类4与聚类5,均表现出较高的绿洲化强度,绿洲化过程对降水最为敏感。其中,聚类4主要分布在张掖绿洲,周围被沙漠戈壁环绕,加之近年来工业化与城市化建设的加快,农田扩张与水资源的无序利用破坏了本就脆弱的生态环境,表现出较高的荒漠化强度;聚类5则因国道、高速公路等穿过,尤其兰新高铁贯穿全境,加强了区域与外界的连通性,促进农产品贸易,因此绿洲化过程更加强烈。

2.4 黑河流域绿洲-城镇-荒漠景观转型的生态环境效应

2.4.1 黑河流域生态环境质量时空变化特征 根据ArcGIS自然断点法,将黑河流域生态环境质量分为5个等级:较差(Ⅰ:0~0.17)、差(Ⅱ:0.17~0.27)、中等(Ⅲ:0.27~0.4)、良(Ⅳ:0.4~0.5)、优(Ⅴ:0.5~1.0)。黑河流域生态环境质量以Ⅰ级与Ⅱ级用地为主,占流域总面积的70%以上,Ⅰ级生境质量分布在下游荒漠区,Ⅱ级生境质量主要分布在中下游绿洲区的外围。生态环境质量最优的Ⅴ级仅占流域总面积的7%左右,主要分布在中游绿洲区与上游祁连山区东南部。

将生态环境质量等级升高或降低一级的区域定义为提升区或下降区,变化两级及以上的区域定义为明显提升区或明显下降区。从图6看出,黑河流域生态环境质量时空变化特征与绿洲-城镇-荒漠景观转型3个阶段非常吻合:(1) 农业发展主导期(2000—2005年),生态环境质量优化趋势最明显,Ⅴ级生境质量土地转入高达4601 km^2,由于大量荒漠景观被开垦为耕地,使得生境质量较高的用地面积增加,其中环境质量明显提升区集中分布于山丹绿洲与民乐绿洲。(2) 产业快速发展期(2005—2015年),社会经济快速发展对流域生态环境产生了负面影响,Ⅰ级生境质量用地转入高达11787 km^2,而Ⅴ级生境质量土地则转出3274 km^2,生境恶化区集中在额济纳绿洲周围、金塔县西南部与甘州区东北部区域。由于城镇扩张侵占部分耕地与林地,使得高质量生境用地减少,加之人类活动对生态环境干扰增大,破坏了流域整体生态平衡。(3) 发展转型协调期(2015—2020年),黑河流域生态环境质量又出现好转,主要提升区分布在中游绿洲区与下游河道两侧区域。整体来看,20 a期间黑河流域生态环境质量呈现波动中提升的趋势,绿洲化的持续扩张使其周边区域生态环境质量明显提升,而下游的城镇化过程则造成生境质量明显下降。

2.4.2 绿洲-城镇-荒漠景观转型的生态环境效应 图7显示,2000—2020年间,黑河流域景观转型的生态环境效应以正效应为主,整体来看正效应主要来自荒漠景观转为绿洲和城镇景观,负效应主要来自绿洲转型为荒漠与建设用地,其中正效应明显强于负效应。沙地、戈壁、盐碱地等荒漠景观向耕地的转型是黑河流域生态环境质量改善的主要原因,占正效应总贡献率的79.8%;戈壁向建设用地的转型也在一定程度上对生态环境质量改善起到作用,占正效应总贡献率的6.5%。耕地退化为戈壁、低覆盖度草地与裸地等荒漠景观是生态环境恶

ChinaXiv:202308.00699v1

ChinaXiv合作期刊

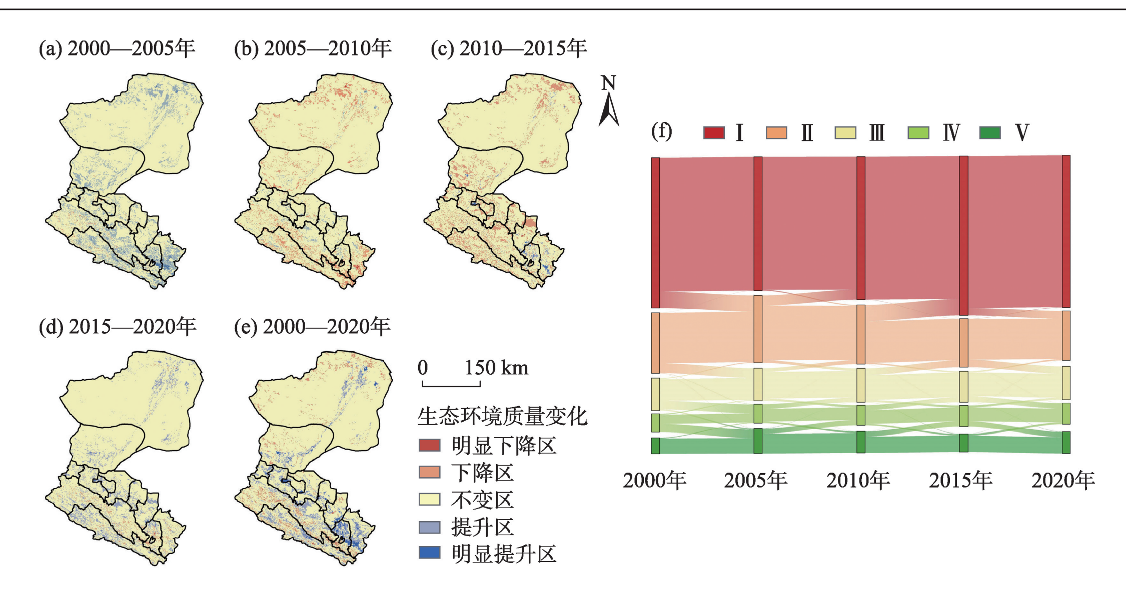
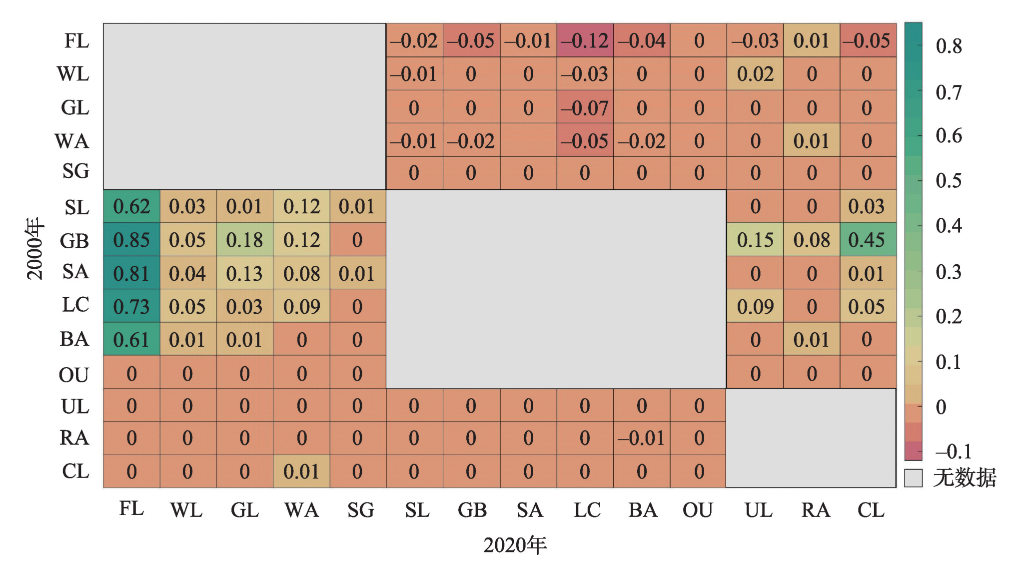


图6 2000—2020年黑河流域生态环境质量时空变化

Fig. 6 Spatial and temporal variation of RSEI in the Heiihe River Basin from 2000 to 2020



注:横轴与纵轴分别表示2020年与2000年的土地利用类型,每个方格表示一个土地转型过程,数值大小表示生态环境贡献率大小(%),正值表示生态环境正效应,负值表示生态环境负效应,空值区为景观内部的转移,此处不予考虑。其中,FL为耕地,WL为林地,GL为高覆盖度草地,WA为水域,SG为沼泽地,SL为沙地,GB为戈壁,SA为盐碱地,LC为中低覆盖度草地,BA为裸地,OU为其他未利用地,UL为城镇用地,RA为农村居民点,CL为其他建设用地。

图7 黑河流域2000—2020年绿洲-城镇-荒漠景观转型及生态环境贡献率

Fig. 7 Transformation and contribution rate of oasis-urban-desert in the Heiihe River Basin from 2000 to 2020

化的主要原因,占负效应总贡献率的41.4%;水域减少造成的环境恶化贡献率占总贡献率的20.0%。此外,草地的退化也是生态环境质量恶化的重要因素,占总负效应的12.2%;城镇扩张对耕地的占用造成的生态环境负效应占贡献总值的9.1%。

3 讨 论

3.1 景观转型的环境响应机制

区域生态环境效应是景观过程与格局的直接反映。快速城镇化与工业化带来了区域经济发展,若不能正确协调经济发展与生态环境保护的关系,必将对区域生态安全造成负面影响[37]。区域景观格局的变化与人类活动密切相关,景观格局的演变过程深入反映了人类活动、自然环境在不同时空对地表的改造[38]。权衡区域经济发展与生态保护之间的关系成为诸多决策部门面临的两难课题[39]。

由于恶劣的自然环境条件,我国西北干旱区生态环境质量总体偏差。在干旱区内陆河流域,绿洲

ChinaXiv:202308.00699v1

ChinaXiv合作期刊

ChinaXiv:202308.00699v1

是人类活动最为活跃的区域,也是景观转型最强烈的区域,而其他区域景观格局变化相对很小[40],在本研究中黑河流域的绿洲-城镇-荒漠景观转型的热点区域也同样分布在各绿洲外围。黑河流域绿洲化过程主要受自然因子如降水、气温与海拔的驱动(聚类4与聚类5),城镇化过程主要由海拔与GDP驱动(聚类2与聚类3),而荒漠化过程受复杂人为因素影响较大。绿洲化过程对降水因子最为敏感,降水量增加有助于作物生长,加速绿洲扩张,而温度对绿洲化的影响比较复杂,Song等[41]发现,温度升高对黑河流域玉米生长具有积极影响,从而诱导了农业绿洲的扩张。研究区在年均气温8.99 ℃处存在阈值效应,绿洲化与城镇化之间的权衡关系发生逆转,气温适宜发展种植业的区域优先扩张绿洲(聚类4),而气温较低的区域则城镇化发展占据优势(聚类2),城镇化带动经济发展,经济发展过程必然加速水资源消耗,有限的水资源无法同时承载绿洲化过程,此时绿洲化与城镇化过程必然表现权衡关系(聚类2),水资源依旧是制约流域发展的关键因素,这与Shao等[42]在黑河流域的研究结论相一致。

3.2 基于景观转型的流域高质量发展策略

本研究利用MRT分析绿洲-城镇-荒漠景观组合的转型过程中的复杂非线性关系及阈值效应,根据聚类结果,结合生态环境质量效应,提出如下促进流域生态保护和高质量发展的策略:

(1) 荒漠生态区:包括中下游荒漠区(聚类1),区域内沙漠戈壁广布,为控制荒漠蔓延,有必要重点加强防护林建设、天然草原退牧还草、防沙治沙等生态工程,同时保护东、西河岸绿洲生态,全力保障生态用水,完善水资源配置格局,牢筑居延绿洲生态安全屏障。

(2) 城镇绿洲权衡区:包括聚类2与聚类4,应重点解决水资源承载力限制人口与经济增长问题,有效保护河西走廊农业灌溉用水,提高农业用水效率,发展新型节水灌溉设施;注重发展特色农副产品加工业与第三产业,有针对性的扩大特色种植业与养殖业规模,打造兼具现代绿色农业商贸与历史文化特色旅游功能的绿洲生态城市。

(3) 荒漠绿洲权衡区:主要为聚类3,作为荒漠绿洲的过渡区,应提高植被覆盖率,重点保护绿洲外围过渡带,加大荒漠化治理力度,防止荒漠蔓延,科学合理开发利用荒地,提高区域整体生态环境质量。

(4) 农业绿洲发展区:主要为聚类5所在区,作为绿洲农田发展区,应聚焦耕地高质量发展与保护,提高农业科技发展水平,注重耕地质量而非数量,在减少耕地面积投入的基础上增加耕地产量。

3.3 研究局限性

本研究也存在部分局限。利用景观转型核密度表征流域内各类景观转型的强度,进而反映流域城镇化、绿洲化与荒漠化强度,这一评价方法仅在空间上量化三类景观转型的强度,而实际上城镇化、绿洲化过程评价机制较为复杂,有时还需考量地区的人口城镇化、经济城镇化、空间城镇化和社会城镇化等一系列相关指标[43-44];此外,由于干旱内陆河流域在绿洲以外的区域景观转型不明显,核密度统计数据可能存在较多空值,数据在空间上的不连续可能会对模型结果造成影响。

4 结 论

本文研究了黑河流域典型景观“绿洲-城镇-荒漠”的“格局-过程”,基于景观转型的时空特征、内部特征与阶段特征分析景观时空动态变化,基于MRT模型分析三类景观转型之间的权衡协同关系及空间响应机制,基于遥感生态指数评估景观转型的生态环境效应,主要结论如下:

(1) 荒漠是黑河流域分布最广泛的景观类型,主要分布于中游东北部和下游地区;绿洲集中分布在中游和下游地区,其中,中游绿洲是流域绿洲面积最大、最集中的绿洲;城镇所占面积最小,其空间分布和规模与绿洲紧密关联,中游绿洲孕育了张掖、酒泉和嘉峪关市等重要城市。

(2) 黑河流域绿洲-城镇-荒漠景观转型可分为三个时期:2000—2005年为农业活动主导期,耕地开垦为主要的转型方向;2005—2015年为产业快速发展期,转型方向复杂多样,城镇绿洲快速发展,土地利用结构趋于协调与多样;2015—2020年为发展转型调整期,城镇发展加速的同时,逐渐重视生态经济功能区的建设。

(3) 气温、GDP、海拔、降水量共同影响绿洲-城镇-荒漠景观转型之间的权衡-协同关系,其中气温主要影响绿洲化过程,海拔影响城镇化过程,气温、降水量与海拔之间的复杂相互作用则会影响区域农业发展(绿洲化)与生态退化(荒漠化)过程。

ChinaXiv合作期刊

（4）2000—2020年间黑河流域景观转型的生态环境效应以正效应为主，正效应主要是来自荒漠景观转为绿洲和城镇景观，负效应主要来自绿洲转型为荒漠与建设用地；其中耕地扩张是正效应的主要原因，耕地退化、水域减少与草地退化则是负效应的主要原因。

参考文献(References)：

[1] Borgwardt F, Robinson L, Trauner D, et al. Exploring variability in environmental impact risk from human activities across aquatic ecosystems[J]. Science of the Total Environment, 2019, 652: 1396-1408.

[2] 阮永健, 吴秀芹. 基于GRACE和GLDAS的西北干旱区地下水资源量可持续性评价[J]. 干旱区研究, 2022, 39(3): 787-800. [Ruan Yongjian, Wu Xiuqin. Evaluation of groundwater resource sustainability based on GRACE and GLDAS in arid region of Northwest China[J]. Arid Zone Research, 2022, 39(3): 787-800.]

[3] Liu B, Sun A, Zhao H, et al. Physicochemical properties of surface sediments in the Taklimakan desert, northwestern China, and their relationship with oasis- desert evolution[J]. Catena, 2022, 208: 105751.

[4] 孙钦珂, 周亮, 唐相龙, 等. 干旱区绿洲城镇扩张对耕地空间影响及预测——以河西走廊区域为例[J]. 自然资源学报, 2021, 36(4): 1008-1020. [Sun Qinke, Zhou Liang, Tang Xianglong, et al. Spatial influence and prediction of oasis urban expansion on cultivated land in arid areas: A case study of the Hexi Corridor[J]. Journal of Natural Resources, 2021, 36(4): 1008-1020.]

[5] You N, Meng J, Zhu L, et al. Isolating the impacts of land use/cover change and climate change on the GPP in the Heihe River Basin of China[J]. Journal of Geophysical Research: Biogeosciences, 2020, 125(10): 005734.

[6] 蒙吉军, 王晓东, 尤南山, 等. 黑河中游生态用地景观连接性动态变化及距离阈值[J]. 应用生态学报, 2016, 27(6): 1715-1726. [Meng Jijun, Wang Xiaodong, You Nanshan, et al. Dynamic changes of landscape connectivity for ecological lands and distance thresholds in the middle reaches of the Heihe River, Northwest China[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2016, 27(6): 1715-1726.]

[7] Liu C, Zhang F, Johnson V C, et al. Spatio-temporal variation of oasis landscape pattern in arid area: Human or natural driving?[J]. Ecological Indicators, 2021, 125: 107495.

[8] Fleskens L, Duarte F, Eicher I. A conceptual framework for the assessment of multiple functions of agro-ecosystems: A case study of Trás-os-Montes olive groves[J]. Journal of Rural Studies, 2009, 25 (1): 141-155.

[9] Zhang Z, Xu E, Zhang H. Complex network and redundancy analysis of spatial-temporal dynamic changes and driving forces behind changes in oases within the Tarim Basin in northwestern China[J]. Catena, 2021, 201: 105216.

[10] Yang G, Li F, Chen D, et al. Assessment of changes in oasis scale and water management in the arid Manas River Basin, north western China[J]. Science of the Total Environment, 2019, 691: 506-515.

[11] Ge G, Zhang J, Chen X, et al. Effects of land use and land cover change on ecosystem services in an arid desert- oasis ecotone along the Yellow River of China[J]. Ecological Engineering, 2022, 176: 106512.

[12] 常学礼, 李秀梅, 白雪莲, 等. 荒漠绿洲交错区景观稳定性与维持机制[J]. 中国沙漠, 2020, 40(3): 43-50. [Chang Xueli, Li Xiumei, Bai Xuelian, et al. Landscape stability and maintaining mechanism in desert- oasis ecotone[J]. Journal of Desert Research, 2020, 40(3): 43-50.]

[13] 钱大文, 巩杰, 贾珍珍. 绿洲化-荒漠化土地时空格局变化对比研究——以黑河中游临泽县为例[J]. 干旱区研究, 2016, 33(1): 80-88. [Qian Dawen, Gong Jie, Jia Zhenzhen. Analysis on the spatio- temporal evolution of oasis formation and desertification: A case study of Linze County in the middle reaches of Heihe River, Gansu[J]. Arid Zone Research, 2016, 33(1): 80-88.]

[14] Meng J, Cheng H, Li F, et al. Spatial-temporal trade-offs of land multi-functionality and function zoning at finer township scale in the middle reaches of the Heihe River[J]. Land Use Policy, 2022, 115: 106019.

[15] Felipe-Lucia M R, Soliveres S, Penone C, et al. Multiple forest attributes underpin the supply of multiple ecosystem services[J]. Nature communications, 2018, 9(1): 1-11.

[16] Li S, Zhao Y, Xiao W, et al. Identifying ecosystem service bundles and the spatiotemporal characteristics of trade-offs and synergies in coal mining areas with a high groundwater table[J]. Science of the Total Environment, 2022, 807: 151036.

[17] Hao R, Yu D, Wu J. Relationship between paired ecosystem services in the grassland and agro-pastoral transitional zone of China using the constraint line method[J]. Agriculture, Ecosystems & Environment, 2017, 240: 171-181.

[18] De´ath G A G. Multivariate regression trees: A new technique for constrained classification analysis[J]. Ecology, 2002, 83: 1105-1117.

[19] 赖江山, 米湘成, 任海保, 等. 基于多元回归树的常绿阔叶林群丛数量分类——以古田山24公顷森林样地为例[J]. 植物生态学报, 2010, 34(7): 761-769. [Lai Jiangshan, Mi Xiangcheng, Ren Haibao, et al. Numerical classification of associations in subtropical evergreen broad-leaved forest based on multivariate regression trees: A case study of 24 hm^2 Gutianshan forest plot in China[J]. Chinese Journal of Plant Ecology, 2010, 34(7): 761-769.]

[20] Ndong G O, Villerd J, Cousin I, et al. Using a multivariate regression tree to analyze trade-offs between ecosystem services: Application to the main cropping area in France[J]. Science of The Total Environment, 2021, 764: 142815.

ChinaXiv:202308.00699v1

ChinaXiv合作期刊

[21] Lyu R, Zhao W, Tian X, et al. Non-linearity impacts of landscape pattern on ecosystem services and their trade-offs: A case study in the City Belt along the Yellow River in Ningxia, China[J]. Ecological Indicators, 2022, 136: 108608.

[22] 董敬儒, 颉耀文, 段含明, 等. 黑河流域绿洲变化的模式与稳定性分析[J]. 干旱区研究, 2020, 37(4): 1048-1056. [Dong Jingru, Xie Yaowen, Duan Hanming, et al. Analysis of patterns in the variation and stability of oases in the Heihe River basin[J]. Arid Zone Research, 2020, 37(4): 1048-1056.]

[23] 唐霞, 李森. 历史时期河西走廊绿洲演变研究的进展[J]. 干旱区资源与环境, 2021, 35(7): 48-55. [Tang Xia, Li Sen. An analysis on the oasis evolution of Hexi Corridor in historical period[J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2021, 35(7): 48-55.]

[24] Xiao F, Gao G, Shen Q, et al. Spatio-temporal characteristics and driving forces of landscape structure changes in the middle reach of the Heihe River Basin from 1990 to 2015[J]. Landscape Ecology, 2019, 34(4): 755-770.

[25] 马鑫苗, 徐华君, 古丽娜尔·麦麦提. 土地利用功能转型及其生态环境效应研究——以吐鲁番市高昌区为例[J]. 干旱区地理, 2022, 45(2): 445-455. [Ma Xinmiao, Xu Huajun, Gulinar Maimaiti. Transformation of land use function and its ecological environmental effects: A case study in the Gaochang District of Turpan City[J]. Arid Land Geography, 2022, 45(2): 445-455.]

[26] Hou G, Chen L. Regional commercial center identification based on POI big data in China[J]. Arabian Journal of Geosciences, 2021, 14(14): 1-14.

[27] Xu L, Zhao S, Chen S S, et al. Analysis of arable land distribution around human settlements in the riparian area of Lake Tanganyika in Africa[J]. Applied Geography, 2020, 125: 102344.

[28] Chen W, Zeng J, Li N. Change in land-use structure due to urbanisation in China[J]. Journal of Cleaner Production, 2021, 321: 128986.

[29] Fu Y, Zhou T, Yao Y, et al. Evaluating efficiency and order of urban land use structure: An empirical study of cities in Jiangsu, China[J]. Journal of Cleaner Production, 2021, 283: 124638.

[30] 杨超, 张少伟, 陈万旭, 等. 广东省土地利用结构信息熵时空演变特征分析[J]. 水土保持研究, 2021, 28(6): 251-259. [Yang Chao, Zhang Shaowei, Chen Wanxu, et al. Spatiotemporal evolution of information entropy of land use structure in Guangdong Province[J]. Research of Soil Water Conservation, 2021, 28(6): 251-259.]

[31] 吕荣芳, 赵文鹏, 田晓磊, 等. 祁连山地区生态系统服务间权衡的社会-生态环境响应机制研究[J]. 冰川冻土, 2021, 43(3): 928-938. [Lyu Rongfang, Zhao Wenpeng, Tian Xiaolei, et al. The trade-offs among ecosystem services and their response to socio-ecological environment in Qilian Mountains[J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2021, 43(3): 928-938.]

[32] Chen A, Yang X, Guo J, et al. Dynamic of land use, landscape, and their impact on ecological quality in the northern sand-prevention belt of China[J]. Journal of Environmental Management, 2022, 317: 115351.

[33] An M, Xie P, He W, et al. Spatiotemporal change of ecologic environment quality and human interaction factors in three gorges ecologic economic corridor, based on RSEI[J]. Ecological Indicators, 2022, 141: 109090.

[34] 徐涵秋. 城市遥感生态指数的创建及其应用[J]. 生态学报, 2013, 33(24): 7853-7862. [Xu Hanqiu. A remote sensing urban ecological index and its application[J]. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(24): 7853-7862.]

[35] Zheng Z, Wu Z, Chen Y, et al. Instability of remote sensing based ecological index (RSEI) and its improvement for time series analysis[J]. Science of The Total Environment, 2022, 814: 152595.

[36] 孔冬艳, 陈会广, 吴孔森. 中国"三生空间"演变特征、生态环境效应及其影响因素[J]. 自然资源学报, 2021, 36(5): 1116-1135. [Kong Dongyan, Chen Huiguang, Wu Kongsen. The evolution of "Production-Living-Ecological" space, eco-environmental effects and its influencing factors in China[J]. Journal of Natural Resources, 2021, 36(5): 1116-1135.]

[37] Zhang J, Li S, Lin N, et al. Spatial identification and trade-off analysis of land use functions improve spatial zoning management in rapid urbanized areas, China[J]. Land Use Policy, 2022, 116: 106058.

[38] Chen H, Chen C, Zhang Z, et al. Changes of the spatial and temporal characteristics of land-use landscape patterns using multi-temporal Landsat satellite data: A case study of Zhoushan Island, China[J]. Ocean & Coastal Management, 2021, 213: 105842.

[39] Wu Y, Luo J, Zhang X, et al. Urban growth dilemmas and solutions in China: Looking forward to 2030[J]. Habitat International, 2016, 56: 42-51.

[40] Pan N, Guan Q, Wang Q, et al. Spatial differentiation and driving mechanisms in ecosystem service value of Arid Region: A case study in the middle and lower reaches of Shule River Basin, NW China[J]. Journal of Cleaner Production, 2021, 319: 128718.

[41] Song W, Zhang Y. Expansion of agricultural oasis in the Heihe River Basin of China: Patterns, reasons and policy implications[J]. Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C, 2015, 89: 46-55.

[42] Shao Y, Jiang Q, Wang C, et al. Analysis of critical land degradation and development processes and their driving mechanism in the Heihe River Basin[J]. Science of the Total Environment, 2020, 716: 137082.

[43] Qiu M, Yang Z, Zuo Q, et al. Evaluation on the relevance of regional urbanization and ecological security in the nine provinces along the Yellow River, China[J]. Ecological Indicators, 2021, 132: 108346.

[44] Bahtebay J, Zhang F, Ariken M, et al. Evaluation of the coordinated development of urbanization-resources-environment from the incremental perspective of Xinjiang, China[J]. Journal of Cleaner Production, 2021, 325: 129309.

ChinaXiv:202308.00699v1

ChinaXiv合作期刊

Evaluation of an oasis-urban-desert landscape and the related eco-environmental effects in an arid area

ZOU Yi, MENG Jijun

(Ministry of Education Laboratory for Earth Surface Processes, School of Urban and Environmental Sciences, Peking University, Beijing 100871, China)

Abstract: Oasis, urban, and desert areas are important landscape types in the inland river basins of arid zones. The Heihe River is the second largest inland river in the northwest arid zone of China. With the socio-economic development of the basin, ecological and environmental problems have become increasingly prominent. In this study, kernel density estimation and landscape structure metrics were applied to analyse the spatio-temporal pattern and transition characteristics of the oasis-urban-desert areas in the Heihe River Basin from 2000−2020. A multivariate regression tree model was used to examine the trade-off and synergy relationships in the oasis-urban-desert landscapes. The remote sensing ecological index (RSEI) and ecological contribution rates of landscape transition, were also used to assess the eco-environmental effects of the oasis-urban-desert landscapes. Deserts were found to be widespread in the Heihe River Basin, oases were concentrated along the middle and lower reaches of the river, and urban areas accounted for the smallest proportion, and their spatial distributions and scale of their structures were found to be closely related to oases. The transition of oasis-urban-desert landscapes in the Heihe River Basin can be summarized into three periods: the domination of agricultural activities (2000−2005), rapid industrial development (2005−2015), and coordinated development transformation (2015−2020). Temperature, GDP, altitude, and precipitation were the main factors affecting the trade-offs and synergies between oasis-urban-desert landscape transitions. From 2000−2020, the eco-environment effects of the landscape transitions were dominated by positive eco-environment effects, with farmland expansion being the dominant factor for positive effects, and the degradation of farmland, water area, and grassland the main factors for negative effects. The findings of this study will provide theoretical guidance for the implementation of future ecological protection and high-quality development strategies for inland river basins in arid zones.

Keywords: oasis-urban-desert; landscape pattern; spatial-temporal evolution; eco-environment effect; Heihe River Basin

ChinaXiv:202308.00699v1